人工智能技术在水文水资源管理的应用研究

谢 涛

黄河水利委员会宁蒙水文水资源局 内蒙古自治区 包头 014030

摘 要：本文聚焦人工智能技术在水文水资源管理领域的应用。阐述了人工智能技术基础，包括技术分类与适用性分析；剖析了水文水资源管理需求，涵盖管理任务分解及传统方法局限性；构建了人工智能在水文水资源管理中的应用框架，涵盖数据层、模型层与应用层。为提升水文水资源管理水平提供理论支持与技术参考。

关键词：人工智能；水文水资源管理；应用框架

引言：随着科技的飞速发展，人工智能技术逐渐渗透到各个领域，为传统行业带来了新的发展机遇。水文水资源管理作为保障水资源可持续利用与应对复杂风险的关键领域，面临着数据处理复杂、实时性要求高、多目标协同困难等挑战。人工智能技术凭借其强大的数据处理能力、实时预测能力以及动态优化能力，为解决这些问题提供了新的思路和方法。

1 人工智能技术基础

1.1 AI技术分类

人工智能（AI）作为一门多学科交叉的技术领域，其核心在于通过算法和模型模拟人类智能行为，实现特定任务的自动化与智能化。根据技术特点和应用场景，AI技术可分为三大类别：机器学习、深度学习及自然语言处理。机器学习是AI的基础分支，其核心在于通过数据驱动的方式让机器自主发现规律并改进性能。监督学习通过标注数据训练模型，使其能够对新数据进行分类或回归预测，如预测径流量变化；无监督学习则通过未标注数据挖掘潜在模式，常用于数据降维或聚类分析，例如识别水文数据中的异常波动；强化学习通过试错机制优化决策策略，在水资源调度中可模拟不同策略下的长期收益。深度学习是机器学习的延伸，通过构建多层神经网络模拟复杂数据特征^[1]。神经网络作为其基本单元，通过节点间的权重调整实现信息传递与特征提取。卷积神经网络（CNN）擅长处理时空数据，如遥感影像中的水文特征提取；循环神经网络（RNN）及其变体（如LSTM、GRU）则通过记忆单元捕捉序列数据中的长期依赖关系，常用于时间序列预测（如水位变化趋势）；生成对抗网络（GAN）通过对抗训练生成逼真数据，可辅助水文数据补全或模拟极端水文事件。自然语言处理（NLP）聚焦于文本数据的处理与分析。文本挖掘技术通过关键词提取、主题建模等方法从水文报告或政策文档中提取结构化信息；语义分析则通过词向量、句

法解析等技术理解文本含义，例如自动解析气象预报中的降水描述并转化为数值化输入。

1.2 AI技术适用性分析

水文水资源管理需处理的数据具有显著特性：时空分布表现为数据随时间和空间维度变化，如降雨量在流域内的时空差异；非线性关系体现在水文系统各要素间的复杂交互，如蒸发、径流与气候因素的耦合；多源异构则指数据来源多样（如传感器、遥感、历史记录）且格式不统一。这些特性对传统方法构成挑战，而AI技术恰好具备与之匹配的能力。高维数据处理是AI的核心优势之一。水文数据常包含数百至上千个变量（如气象参数、地形特征），传统方法难以有效降维或建模。机器学习中的特征选择算法（如递归特征消除）可自动筛选关键变量，深度学习中的自动编码器则通过非线性映射实现数据降维，同时保留关键信息。实时预测需求要求模型能够快速响应输入变化。水文系统受气候、人类活动等动态因素影响，需实时更新预测结果。深度学习模型（如LSTM）可通过在线学习机制动态调整参数，强化学习则可基于实时反馈优化调度策略，例如在洪水预警中动态调整阈值。动态优化能力体现在多目标决策场景中。水资源管理需平衡供需矛盾、生态保护与经济效益，传统方法常依赖经验规则或线性优化。AI技术可通过多目标优化算法（如遗传算法）生成帕累托前沿解集，强化学习则可在模拟环境中探索最优策略，例如在干旱期动态调整水库放水计划。AI技术的泛化能力使其能够适应不同流域特性。通过迁移学习，可将已训练模型应用于相似流域，减少数据依赖；而生成模型则可模拟不同气候情景下的水文响应，辅助制定适应性策略。

2 水文水资源管理需求分析

2.1 管理任务分解

水文水资源管理涵盖多个相互关联任务，核心目标在于保障水资源可持续利用并应对复杂风险，任务可分

解为以下四个方向：水文监测是基础环节，涉及对水文要素的动态感知与信息传递。实时数据采集通过传感器网络对流域内降雨、水位、流量等关键参数高频次观测；数据传输依赖稳定通信网络将现场数据实时传至管理平台；数据存储构建高效数据库，支持大规模历史数据长期保存与快速检索。该过程确保数据完整性、准确性与时效性，为后续分析提供支撑。水资源评估聚焦供需分析与可持续性判断^[2]。供需平衡综合考量自然补给与人类需求动态变化，通过模型模拟预测未来水资源盈缺状况；可持续性分析引入多维度指标，评估开发利用模式对长期系统稳定性的影响。该过程结合历史数据与未来情景预测，为政策制定提供依据。水灾害预警降低极端水文事件对经济社会影响。洪水风险评估通过水文模型模拟不同降雨情景下的水位变化，结合地形数据划分风险等级；干旱预警监测土壤湿度、蒸发量等指标，识别干旱发展阶段并触发应急响应。应急响应机制联动多部门资源，通过预案启动、人员疏散、物资调配等措施降低灾害损失。该过程确保预警准确性、及时性与可操作性。水质监测关注水体污染识别与治理。污染溯源通过多源数据定位污染源位置与扩散路径，结合污染物特性分析污染成因；治理策略基于污染类型与范围制定针对性方案，并通过动态监测评估治理效果。该过程兼顾技术可行性、经济成本与社会影响，实现污染防控与生态保护协同。

2.2 传统方法局限性

传统水文水资源管理方法虽在长期实践中积累了丰富的经验，但在应对复杂系统时逐渐暴露出结构性缺陷，具体表现为以下三方面：模型依赖性强导致管理决策高度依赖参数化模型。传统水文模型（如SWAT、HEC-HMS）需通过率定大量参数（如土壤渗透系数、蒸发蒸腾系数）以匹配历史数据，这一过程受限于数据质量与参数可辨识性，易导致模型偏差。模型结构通常基于简化假设（如线性关系、均匀下垫面），难以捕捉水文系统的非线性特征与空间异质性，影响预测精度。实时性不足制约了管理决策的时效性。传统方法依赖周期性观测数据（如日尺度降雨、月尺度水质监测），难以捕捉水文过程的瞬时变化（如暴雨径流、突发污染）。在灾害预警场景中，数据滞后可能导致预警阈值触发延迟，错过最佳响应时机。此外，传统模型运算效率较低，难以满足实时动态模拟需求。多目标协同困难加剧了资源分配与风险应对的冲突。传统方法通常以单一目标（如防洪、供水）为导向优化决策，缺乏对多目标权衡的量化分析。例如，水库调度中需同时满足发电、灌溉与生

态流量需求，但传统模型难以动态调整策略以适应不同情景。部门间信息壁垒（如水利与气象部门数据共享不足）进一步加剧了协同困境。

3 人工智能在水文水资源管理中的应用框架

3.1 数据层

在水文水资源管理领域，数据来源呈现广泛且复杂的特点。遥感技术凭借其强大的宏观监测能力，成为获取大面积水文信息的重要手段。通过卫星遥感，可以实时监测水体的分布范围以及水位变化情况，为水资源管理提供了全面且实时的宏观视角。其数据覆盖范围之广、更新速度之快，使得管理者能够及时掌握水资源的宏观动态^[3]。在微观层面，传感器则扮演着关键角色。各类水文传感器被精心部署于河流、湖泊、水库等水域环境中，它们如同不知疲倦的“记录员”，实时采集着水位、流量、水质等关键数据，持续为水资源管理提供高精度的现场数据支持。历史记录作为水文水资源变化的重要载体，承载着长时间的水文水资源变化信息。这些信息对于分析水资源的长期演变规律、评估当前水资源状态以及预测未来趋势都具有不可替代的价值。社交媒体数据也逐渐成为水文水资源数据的新来源。在突发水文事件中，社交媒体上用户发布的照片、文字描述等信息，能够帮助相关部门快速了解事件现场的情况，为及时做出决策提供有力依据。这些多源数据在进入后续分析流程之前，需要经过严格的预处理。清洗环节去除噪声、错误数据及缺失值，确保数据的准确性和可靠性；特征提取环节挖掘数据的代表性特征，为模型构建提供有效输入；时间序列对齐环节则确保不同来源数据在时间维度上的一致性，以便进行更有效的分析和比较。这些预处理步骤共同为后续分析提供了坚实基础，助力水文水资源管理更加全面、准确地了解水资源状况，为科学决策提供有力支持。

3.2 模型层

在水文模型优化进程中，人工智能技术成为核心驱动力。传统水文模型参数率定面临效率低下、精度不足的困境，而AI驱动的参数率定方法借助机器学习算法，可高效处理海量数据，自动探寻最优模型参数。遗传算法等智能算法能在众多参数组合中精准定位，使模型模拟结果与实际观测数据高度契合。经AI优化后的水文模型，模拟精度与可靠性大幅提升，验证时能更精准复现历史水文过程，为水资源管理提供坚实模型支撑。动态预测模型在水文水资源管理中占据重要地位。时间序列预测模型依托深度学习技术，如循环神经网络（RNN）及其改进型长短期记忆网络（LSTM），深入剖析水文时

间序列数据,捕捉长期依赖关系与复杂变化模式,实现对水位、流量等水文要素的精准预测。鉴于水文系统的复杂性与不确定性,预测结果存在误差范围。引入不确定性分析方法,如蒙特卡洛模拟,量化预测结果的不确定性程度,为决策者提供全面信息,助力其在制定决策时全面考量各种可能情况。多目标决策模型在水文水资源管理中用于应对资源分配优化与应急响应策略生成等复杂挑战。在资源分配方面,需兼顾农业灌溉、工业用水、居民生活用水等多重需求,实现水资源高效利用与可持续发展^[4]。多目标决策模型综合考量经济效益、社会效益与环境效益,运用粒子群优化算法等智能算法,探寻最优水资源分配方案。在应急响应策略生成方面,面对洪水、干旱等突发水文事件,模型能依据实时监测数据与历史经验,迅速生成科学合理的应急响应策略,涵盖抢险救援方案、物资调配计划等,以最大限度降低灾害损失。

3.3 应用层

智能监测系统是人工智能在水文水资源管理应用层的关键展现。借助实时数据可视化技术,传感器采集的水文数据以图表、地图等直观形式呈现,使管理人员能快速掌握各监测点水文状况。利用人工智能异常检测算法对实时数据持续分析,一旦数据出现异常波动,系统立即发出警报,提醒相关人员排查处理。此功能显著提升了水文水资源管理的及时性与准确性,助力提前发现并应对潜在问题。预警与响应系统在水文水资源管理中至关重要。其基础在于风险等级划分,通过综合分析历史水文数据、地理信息及实时监测数据,运用人工智能模型评估各区域水文风险,并划分风险等级。当风险达到设定阈值时,系统自动启动预警机制,通过短信、邮

件、广播等渠道向相关部门和公众发布预警信息。动态策略调整功能则根据实时水文变化,及时调整预警级别和响应策略。例如,在洪水消退过程中,系统依据水位下降速度和流量变化,适时调整救援力量部署和物资调配计划。决策支持平台为水文水资源管理决策者提供强大工具。多情景模拟功能基于不同假设条件和参数设置,利用水文模型和人工智能算法模拟分析未来多种可能的水文情景。决策者通过对比不同情景模拟结果,了解各决策方案可能带来的影响和后果。例如,在制定水资源调配方案时,可模拟不同调配策略对供水保障、生态环境等方面的影响。基于这些模拟结果,平台为决策者提供科学合理的政策推荐,助力制定出更符合实际需求和长远发展的水文水资源管理政策。

结束语

人工智能技术为水文水资源管理带来全新变革。从数据预处理到模型优化,再到智能监测、预警响应与决策支持,AI技术贯穿水文水资源管理全流程,有效提升管理精度与效率。未来,需进一步深化AI技术研究与应用,加强多学科融合,推动水文水资源管理向智能化、精细化方向发展,以更好地应对水资源领域的各种挑战。

参考文献

- [1]梁克,靳春寒.基于水文水资源标准化管理在水利工程中的实践研究[J].水上安全,2024,(13):32-34.
- [2]刘喜湘.基于人工智能技术的矿山水文地质预测与监测方法研究[J].中国金属通报,2023(22):92-94.
- [3]席嘉琦,刘雪颖,王津莹.简析信息化技术在水文水资源领域的应用[J].内蒙古水利,2024,(06):77-79.
- [4]许红梅.水文水资源管理及其在水利工程中的应用[J].农业灾害研究,2024,14(04):296-298.